

**РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ В.Я.БОРХОДОЕВА  
“РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ГОРНЫХ ПОРОД  
СПОСОБОМ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ”**

**МАГАДАН: СВКНИИ ДВО РАН, 1999. 279 С.**

*А.Г.Ревенко, Иркутск*

Результаты исследования зависимости интенсивности рентгеновской флуоресценции от условий возбуждения, геометрии спектрометра и химического состава проб в совокупности с применением современных средств вычислительной техники позволили по-новому подойти к решению проблемы учета взаимных влияний элементов в рентгеноспектральном флуоресцентном анализе (РФА). Оказалось возможным реализовать способы фундаментальных параметров и теоретических поправок. Широкое применение на начальном этапе разработки методик РФА находит подход, основанный на теоретическом выборе подходящего способа анализа и оптимальных условий его реализации, когда примерная ошибка определения концентраций для различных способов анализа определяется с использованием расчётных интенсивностей для группы проб анализируемого материала.

В настоящее время дальнейшее повышение точности расчетов интенсивности линий рентгеновской флуоресценции связано с уточнением величины параметров зависимости, соединяющей интенсивность с условиями возбуждения и химическим составом проб: массовые коэффициенты поглощения, выходы флуоресценции отдельных элементов, вероятности испускания отдельных линий, скачки поглощения, спектральный состав первичного излучения и т.д.

За 30 с небольшим лет, прошедших со времени опубликования работы Ширайвы и Фудзиино (1966), а также первого опыта применения способа фундаментальных параметров (СФП) Пармоновым Ф.П. (1966), произошли существенные изменения. Сегодня этот подход реализован в фирменном программном обеспечении к рентгеновским спектрометрам. Разного качества программы предложены фирмами ARL, Буревестник, Spectron, Bruker, Philips и т.д. Да, некоторые называли такой вариант способа “безэталонным”. Мы возражали, так как даже в рек-

ламных проспектах, например фирмы ARL, речь шла об использовании при реализации этого варианта до 9 образцов для градуировки. Сегодня мы читаем в программе семинара (г. Иркутск, 19-21 октября 1999 г.) такой вариант: “Определение до 78 элементов в образцах любого типа и произвольной формы без использования адекватных СО химического состава”. Длиннее, конечно, но возражений не вызывает.

Рассматриваемая монография Борходоева В.Я. представляет собой наиболее полное изложение физических основ и особенностей применения способа фундаментальных параметров в РФА. Её автор, активно работающий в области РФА горных пород и минералов, подготовил обобщающую работу, в которой рассмотрено современное состояние проблемы. Монография, состоящая из 7 глав и Приложений, содержит результаты теоретических исследований, практические рекомендации, подробное описание разработанных автором методик РФА горных пород и почв.

В главе 1 согласно традиции рассмотрены физические основы РФА: строение атома и его электронных оболочек; процессы, приводящие к образованию характеристического рентгеновского излучения; даётся понятие выхода флуоресценции; представлена схема переходов Костера-Кронига; даны основы систематики характеристических рентгеновских спектров; обсуждено понятие интенсивности рентгеновского излучения. Рассмотрение механизма возбуждения тормозного рентгеновского излучения предваряется обсуждением понятий “тормозная способность”, “обратное рассеяние электронов” и др. В разделе “Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом” рассмотрены особенности поглощения, рассеяния и дифракции рентгеновского излучения.

Этот материал является фоновым, но его введение необходимо для понимания сущности способа без привлечения дополнительной литературы.

Следующие 3 главы также посвящены физике рентгеновских лучей. В главе 2 рассмотрены так называемые матричные эффекты в РФА (представлен вывод формулы для интенсивности первичной, вторичной и третичной рентгеновской флуоресценции, формулы для оценки вклада в интенсивность флуоресценции за счет возбуждения рассеянным в образце первичным излучением, а также оже- и фотоэлектронами).

В третьей главе обсуждены результаты экспериментального и теоретического исследования спектрального распределения излучения рентгеновских трубок. В заключительном разделе главы дано краткое описание разработанной автором программы SPECTR и получения рассчитанных с ее помощью спектральных распределений стандартных рентгеновских трубок SEG-50H, OEG-50, OLG-75H и 3PXB-2.

В четвертой главе проанализирован большой объем информации по фундаментальным параметрам, накопленный в РФА. Отдельно обсуждены: L - длины волн эмиссионных линий и краев поглощения;

- массовые коэффициенты ослабления;
- коэффициенты рассеяния;
- выход флуоресценции и вероятности переходов Костера-Кронига;
- относительные интенсивности линий характеристического рентгеновского излучения;
- скачки поглощения.

Рекомендованные автором монографии значения отдельных фундаментальных параметров приведены в Приложении.

Следует отметить, что фундаментальный труд "Физика рентгеновских лучей" М.А.Блохина, опубликованный еще в 1957 г., естественно нуждается в переработке. К сожалению, ни в отечественной, ни в зарубежной литературе в настоящее время нет современного аналога этой настольной книги рентгеноспектральщиков. Предпринятую Г.В.Павлинским попытку что-то сделать в этом плане (Павлинский Г.В. "Основы физики рентгеновского излучения: Учебное пособие". Иркутск: ИГУ, 1999. 165 с.) можно считать только первым приближением, так как пособие нельзя рекомендовать массовому читателю по причине малого тиража (50 экз.) и большого числа типографских опечаток. Вследствие этого можно только приветствовать стремление Борходоева В.Я. внести свой вклад в решение этой проблемы.

Хотя автор использовал результаты собственных исследований практически в каждой главе, тем не менее основной вклад автора в решение данной проблемы, по моему мнению, представ-

лен в гл. 5-7.

Пятая глава содержит сведения об используемых в РФА физических моделях рентгеновской флуоресценции, т.е. фактически рассмотрены варианты уравнений связи, основанные на использовании теоретических формул, связывающих интенсивность флуоресценции аналитической линии с химическим составом образца. Детально анализируются достоинства и недостатки, а также области применения конкретных моделей.

Основное внимание в этой главе уделено рассмотрению особенностей реализации способа фундаментальных параметров. В заключительном параграфе этой главы представлены результаты сделанной автором оценки влияния расходимости пучка первичного излучения на интенсивность рентгеновской флуоресценции в случае анализа горных пород на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL-72000 с использованием рентгеновской трубки OEG-75H.

Программное обеспечение РФА с помощью способа фундаментальных параметров обсуждено в главе 6. Автор обращает основное внимание на содержательную часть программ, обсуждает ограничения использования отдельных программ и применяемых баз данных для рентгеноспектрального анализа.

В заключительной 7 главе представлена подробная пропись разработанной автором методики автоматического силикатного анализа горных пород с использованием способа фундаментальных параметров и даны основные метрологические характеристики (воспроизводимость, правильность, предел обнаружения) рентгенофлуоресцентного определения содержаний петрогенных элементов и микроэлементов в горных породах и почвах. Аналитикам, работающим в геологических и экологических лабораториях, очень часто приходится исследовать образцы неизвестного химического состава, содержания элементов в которых могут существенно отличаться от применяемых стандартных образцов. Поэтому очевидна актуальность исследования возможностей СФП, ориентированного на применение минимального числа стандартных образцов для градуирования.

В монографии отдельно выделены наиболее часто использованные обозначения, дан список сокращений. Материал иллюстрирован 52 рисунками. В конце книги имеется предметный указатель, что облегчает поиск информации.

Список литературы представлен 280 тщательно отобранными публикациями (35 ссылок на работы после 1990 г.).

В числе недостатков, замеченных при чтении монографии, можно отметить следующие.

1. Совершенно не рассмотрены проблемы РФА тонких образцов и, в частности, применение в этом случае способа фундаментальных параметров. Для геологических материалов известен ряд работ, в которых в качестве излучателей используются тонкоплёночные излучатели. В книге, имеющей такой общий заголовок, это целесообразно было отразить.

2. В разделе 2.3 при рассмотрении вклада третичной рентгеновской флуоресценции на стр. 48 в числе работ, в которых речь идёт об этом эффекте, ошибочно указана работа [81]. В ней использовано третичное излучение, что очевидно не связано с исследуемым эффектом.

3. На стр. 161 автором использован термин "безэталонный" способ.

В своём предисловии В.Я.Борходоев заявляет: "... в данной книге предпринята попытка разрушить стереотип о большой сложности СФП и тем самым способствовать широкому внедрению способа в аналитическую практику." Я не могу заверить читателей в том, что автор достиг поставленной цели. Тем не менее автор монографии достаточно полно отразил успехи в развитии теории РФА, что даёт современное представление о возможностях метода. В заключение считаю необходимым отметить, что издательство Северо-Восточного комплексного НИИ ДВО РАН выпустило ценную и полезную книгу, которая, без сомнения, будет встречена с интересом специалистами, работающими над развитием теоретических проблем РФА, а также аналитиками, применяющими способ в своей практической деятельности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Shiraiwa T., Fujino N. // J. Appl. Phys. Japan, 1966. V.5. P.886-899.
2. Парамонов Ф.П. Определение концентрации элементов способом подбора теоретического стандарта // Изв. АН КазССР. Сер. хим. 1966. N 3. С. 97-98.
3. Criss J.W., Birks L.S. Calculation methods for fluorescent x-ray spectrometry // Anal. Chem. 1968. V.40, №7. P.1080-1090.
4. Карманов В.И., Походня И.К., Марченко А.Е. Рентгеноспектральный анализ с одним эталоном и корректировкой интенсивности на ЭВМ // Зав. лаб. 1972. Т. 38, № 2. С.167-169.
5. Блохин М.А. Физика рентгеновских лучей. М.: ГИТТЛ, 1957. 518 с.
6. Павлинский Г.В. Основы физики рентгеновского излучения: Учебное пособие. Иркутск: ИГУ, 1999. 165 с.

Монографию можно заказать по электронной почте.  
Адрес: v\_borkhodoev@neisri.magadan.su (Владимир Яковлевич Борходоев).

\* \* \* \* \*